

VERGLEICHENDE ORTSDOSISMESSUNGEN
IM ZAHNÄRZTLICHEN PRAXISRAUM AN DREI
PANORAMA-SCHICHTAUFNAHME-GERÄTEN
UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DES
KONTROLL- UND ÜBERWACHUNGSBEREICHES

Jürgen Bachmann

1978

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
(Direktor: Prof. Dr. E. Sonnabend)
der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität München

VERGLEICHENDE ORTSDOSISMESSUNGEN IM ZAHNÄRZTLICHEN
PRAXISRAUM AN DREI PANORAMA-SCHICHTAUFNahme-GERÄTEN
UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DES KONTROLL-
UND ÜBERWACHUNGSBEREICHES



Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Jürgen Bachmann
aus Höhenkirchen bei München

1978



Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. E. Sonnabend

Mitberichterstatter: Prof. Dr. K.-W. Frey

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 14.3.78

Meinen Eltern
in Dankbarkeit gewidmet

Inhaltsverzeichnis

Seite

A)	Einleitung	1
1.	Bedeutung der Panorama-Schichtaufnahme-Technik	1
2.	Stand der Kenntnisse über Dosisverteilungen an zahnärztlichen Röntgengeräten	1
3.	Zielsetzung der Arbeit	2
B)	Ortsdosis-Meßverfahren an Panorama-Schichtaufnahme-geräten und deren Ergebnisse in der Literatur	3
C)	Prinzip der Panorama-Schichtaufnahme-Technik und Beschreibung der Röntgengeräte	5
D)	Experimentelle Bedingungen	7
1.	Dosismessung	7
2.	Phantom	10
3.	Versuchsanordnung	11
3.1.	Lagebeziehung: Phantom - Röntgengerät	11
3.2.	Lagebeziehung: Röntgengerät - Ortsdosis-meßpunkte	12
E)	Meßergebnisse	16
1.	Abhängigkeit der Dosis von der Entfernung des Meßpunktes	16
2.	Abhängigkeit der Dosis von der Röhrenspannung	24

3.	Zentrierung des Nutzstrahles	28
4.	Direktabstrahlung - Streustrahlung	28
5.	Dosis im Zentrum	29
F)	Diskussion und Schlußfolgerungen	30
1.	Vergleich der eigenen Messungen mit denen anderer Autoren	30
2.	Einfluß der Röhrenspannung	33
3.	Vergleich der drei Geräte untereinander und ihre konstruktionsbedingten Unterschiede	34
4.	Beziehung zu gesetzlich festgelegten Werten (Kontroll- und Überwachungsbereich)	35
5.	Folgerungen für bautechnische Strahlenschutzvorkehrungen	39
G)	Zusammenfassung	41
H)	Anhang (Standarddaten und Meßprotokolle)	44
I)	Literaturverzeichnis	57

VERGLEICHENDE ORTSDOSISMESSUNGEN IM ZAHNÄRZTLICHEN PRAXISRAUM AN DREI PANORAMA-SCHICHTAUFGABENGERÄTEN UNTER BESONDERER BE- RÜCKSICHTIGUNG DES KONTROLL- UND ÜBERWACHUNGSBEREICHES

A) Einleitung

1. Bedeutung der Panorama-Schichtaufnahme-Technik

Panorama-Schichtaufnahme-geräte nehmen auf dem Gebiet der zahnärztlichen Diagnostik einen immer breiteren Raum ein. In der Kieferorthopädie und Kieferchirurgie sind sie in den letzten Jahren zu einem der wichtigsten Hilfsmittel zur Darstellung des gesamten Ober- und Unterkiefers geworden.

Die seit 01.09.73 gültige und auch für zahnärztliche Röntgenanlagen verbindliche Röntgenverordnung (RÖV) schreibt als höchstzulässige Dosis für den Kontrollbereich 1,5 rem/Jahr und für den Überwachungsbereich 0,15 rem/Jahr vor. Von der ICRP (International Commission on Radiation Protection) wird empfohlen, die Dosis von 0,1 rem/Woche nicht zu überschreiten.

Es erschien daher erforderlich, genaue Angaben über die quantitative Strahlenexposition des Zahnarztes und des zahnärztlichen Hilfspersonals zu erarbeiten.

2. Stand der Kenntnisse über Dosisverteilungen an zahnärztlichen Röntgengeräten

Für intraorale Aufnahmetechniken liegen Ergebnisse umfangreicher Ortsdosismessungen vor (RICHARDS 1958, JUNG 1966, ROLOFSON 1969, WENZEL 1969, KLINE und STEWART 1970, SAUTER 1973). Das gleiche gilt für extraorale Aufnahmetechniken mit intraoraler Röhrenführung sowie für die Bestimmung von Patientendosen (SONNABEND, 1961 - 1975, REGULLA und RICCI 1972); dagegen liegen praktisch keine vergleichenden Daten über Ortsdosismessungen an Panorama-Schichtaufnahme-geräten vor.

3. Zielsetzung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit setzte sich deshalb zum Ziel, die fehlenden Daten über Ortsdosen in der Umgebung dreier Gerätetypen von Panorama-Schichtaufnahmegeräten zu bestimmen. Die Messungen sollten in einem Vergleich die in der Praxis am häufigsten vorkommenden Gerätetypen (Orthopantomograph, Panorex und Dental-Tomograph) erfassen.

Als Meßparameter galten Meßebeene, Entfernung, Winkel und Röhrenspannung. Die Ergebnisse sollen dem Zahnarzt, aber auch der Behörde helfen, die Wahl des Standortes unter Berücksichtigung des Kontroll- und Überwachungsbereiches zu erleichtern. Als Ergänzung sollten für den Patienten eventuell kritische Dosiswerte im Zentrum der Geräte ermittelt werden.

Bei den vorliegenden Untersuchungen war prinzipiell mit dem Auftreten niedriger Dosiswerte, z. T. im Bereich unter 50 μ R, zu rechnen, wodurch der Wahl des geeigneten dosimetrischen Meßverfahrens und dessen Kalibrierung besondere und prinzipielle Bedeutung zukam. Die Untersuchungen erschienen zudem insofern lohnend, als die genetische Auswirkung der Gonadendosis bekanntlich keinen unteren Schwellenwert besitzt.

B) Ortsdosis-Meßverfahren an Panorama-Schichtaufnahmegeräten und deren Ergebnisse in der Literatur

Die bis jetzt erschienenen Veröffentlichungen auf dem Gebiet der Ortsdosismessung an Panorama-Schichtaufnahmegeräten behandeln jeweils nur ein Gerät. Die Autoren messen nach unterschiedlichen Verfahren, die nur begrenzt vergleichbar sind.

JACOBSON und FERGUSON (4) arbeiteten am Panorex von S. S. Whit mit Thermolumineszenzdosimetern der Zusammensetzung LiF und CaF_2 . Die Dosimeter hatten Plättchenform der Größe 3×3 mm und waren 0,1 mm dick. CaF_2 ist empfindlicher und energieabhängig und mußte mit dem energieunabhängigen und schwer ansprechbaren LiF kalibriert werden. Die LiF-Chips wiederum wurden mit einem GE-Maximar 100 Röntgengerät geeicht. Die Kalibrierung erfolgte der Art, daß LiF und CaF_2 -Chips gemeinsam in geringem Abstand (10 und 20 cm) vom Phantom (Rando) im Winkelabstand von 30° bestrahlt wurden. Es wurde, wie auch bei späteren Messungen, ausschließlich mit der Röhrenspannung 90 kV und dem Strom 13 mA (also der Maximalleistung) gearbeitet, so daß nur für diese eine Energiestufe ein Faktor errechnet wurde, der eine Beziehung zwischen LiF und CaF_2 ergab. Die nach diesem Verfahren kalibrierten, empfindlichen CaF_2 -Chips wurden dann in Entfernungen von 60, 80 und 100 cm radial um den Drehpunkt der Röhre (Phantommittelpunkt) auf zwei Pappkartonebenen in den Höhen 80 cm (= Gonaden des Zahnarztes) und 112,5 cm (= Röhrenhöhe) jeweils in Dreiergruppen während 40 Umläufen bei maximaler Röhrenleistung exponiert. (Die Summation war notwendig, um bei der Auswertung ein über das Grundrauschen hinausgehendes Signal zu bekommen.)

JACOBSON und FERGUSON kamen zu Meßwerten, die bei 90 kV in 112,5 cm Höhe und in einem Winkel von 90° , bezogen auf

r = 75 cm ca. bei 300 μR

r = 100 cm ca. bei 170 μR

r = 150 cm ca. bei 75 μR

lagen.

Die Meßanordnung beschränkte sich auf einen Halbkreis, da die Autoren von einer Symmetrie zur sagittalen Geräteachse ausgingen.

ROTTKE und BUCHMANN (9) machten zwar Messungen am Dental-Tomographen von Philips, wobei sie Kondensatorkammern (Typ?) verwendeten, die sie "in 75 cm Abstand vom Zentrum (Patientenachse) des Systems" mit 80 kV und 12 mA bei 20 s Umlaufzeit (Werksangabe) exponierten; der Winkelabstand der einzelnen Werte beträgt 45° . Als Patientenersatz verwendeten sie ein 3 M-Phantom. Über die Meßebenen ist jedoch nichts erwähnt.

Unter diesen Bedingungen kamen die Autoren, wie einer Skizze zu entnehmen ist, auf eine "Standard-Ionendosis pro Aufnahme" von 100 μ R in 180° , 90° und 270° zum Gerät (ausgenommen: 0° am Wandstativ) und 150 μ R in 45° , 135° , 225° und 315° und errechneten daraus, daß für den Untersucher in einer Entfernung von 150 cm vom Gerätezentrum eine Strahlenexposition auftritt, die "immer kleiner als 50 μ R / Aufnahme ist".

Keine Angaben sind in diesen Arbeiten über das Meßverfahren, seine Kalibrierung und die erzielte Meßgenauigkeit gemacht. Grundsätzlich fehlen vergleichende Messungen zu den verschiedenen in der Praxis vorkommenden Gerätetypen gerade im Hinblick auf die Durchführung der Röntgenverordnung in der zahnärztlichen Praxis bezüglich Reduzierung der Strahlenbelastung für den Zahnarzt und sein Hilfspersonal.

C) Prinzip der Panorama-Schichtaufnahme-Technik und Beschreibung der Röntgengeräte

Alle drei verwendeten Röntgengeräte, der Orthopantomograph der Firma Siemens, der Dental-Tomograph der Firma Philips-Mueller und der Panorex der Firma S. S. White (Standarddaten siehe Anhang), arbeiten nach dem Panorama-Schichtprinzip: Ein System, bestehend aus Röntgenröhre, Primärspalt, Sekundärspalt und Folienkombination in der Röntgenkassette beschreibt eine Relativbewegung um den Kopf des Patienten, wobei gleichzeitig die Filmkassette gegenüber dem Sekundärspalt verschoben wird. Auf dem Film wird nur die Schicht des Kiefers und der Zähne scharf abgebildet; unerwünschte Partien werden tomographisch verwischt. Da der Zahnbogen im Seitenzahnbereich und in der Front verschiedene Krümmungsradien aufweist, ist während des Umlaufes eine relative Änderung der Position der Rotationsachse des Systems zum Kiefer notwendig. Die Rotationsachse, die innerhalb des Kieferbogens liegt, kann während des Umlaufes auch konstant bleiben, dann muß sich jedoch wie beim Panorex die Lage des Patienten im System ändern, sie kann aber auch zwei oder drei verschiedene feste Positionen einnehmen oder kontinuierlich wandern und damit eine konstante Beziehung zwischen abzubildender Schicht und Fokus einerseits sowie der Filmebene andererseits gewährleisten. Die Strahlen fallen, dank dieses Konstruktionsprinzips, fast immer orthoradial auf den Zahnbogen.

Beim Orthopantomographen (nach PAATERO) wandert das System um drei verschiedene Rotationszentren; davon liegt je eines rechts und links im Bereich der aufsteigenden Äste des Unterkiefers und eines in der Mundhöhlenmitte. Die Reproduzierbarkeit der Kopfeinstellung ist durch eine Kinnstütze und seitliche Plexiglashalter gegeben. Der kontinuierliche Bewegungsablauf dauert laut Werksangabe 15 Sekunden, wir konnten jedoch nur 13 Sekunden messen. Die maximal einstellbare Röhrenspannung beträgt 85 kV bei einem Röhrenstrom von 15 mA. Die Gesamtfilterung entspricht 2 mm Aluminium Gleichwert.

Die Konstruktion des Dental-Tomographen entspricht weitgehend der des Orthopantomographen; die ebenfalls drei Rotationsachsen sind alle lingual der Unterkieferzähne angeordnet. Ein Umlauf (ebenfalls kontinuierlich) dauert 20 Sekunden. Die maximale Röhrenspannung beträgt 90 kV bei 11 mA Röhrenstrom. Die Gesamtfilterung ist 2 mm Aluminium äquivalent.

Bei der Panorex-Aufnahmetechnik bleibt der Kopf des sitzenden Patienten fixiert, während Film und Tubus den Kopf umkreisen. Für die rechte Seite des Kieferbogens liegt das Rotationszentrum hinter dem letzten linken Molaren.

Hat der Röntgentubus den Bereich der Wirbelsäule erreicht, schaltet sich die Strahlung ab, der Stuhl mit dem Patienten wird nach lateral verschoben; damit wandert das Rotationszentrum hinter den letzten rechten Molaren, und es wird nun die linke Seite des Kieferbogens aufgenommen. Die Gesamtdauer des intermittierenden Umlaufs beträgt laut Werksangabe ca. 25 Sekunden, bei unserem Gerät betrug sie nur 22 Sekunden, 20 Sekunden davon sind als Belichtungszeit anzusetzen. Als maximale Röhrenspannung werden 90 kV bei 13 mA abgegeben. Die Gesamtfilterung beträgt seit 18.08.1971 2,5 mm Aluminium Gleichwert (persönliche Mitteilung vom Werk) (21).

D) Experimentelle Bedingungen

1. Dosismessung

Bei dem von uns verwendeten Strahlenschutz-Dosisleistungsmesser TOL/E der Firmen Frieseke & Höpfner GmbH, Erlangen-Bruck und Laboratorium Prof. Dr. Rudolf Berthold, Wildbad, handelt es sich um eine neu entwickelte Ionisationskammer mit Gasverstärkung, die laut Werksangaben innerhalb einer Toleranz von $\pm 10\%$ für Röntgen- oder Gammastrahlung oberhalb 10 keV bis zu den Gammastrahlenenergien von Ra^{-226} oder Co^{-60} energieunabhängig arbeitet und radial eine nur geringe Richtungsabhängigkeit aufweist.



Abb. 1 - Strahlenschutz-Dosisleistungsmesser TOL/E

Das tragbare Gerät eignet sich sowohl für Messungen der Dosisleistung als auch der integralen Dosis, die wahlweise direkt abgelesen werden können. Die Dosisintegration stellte für die vorliegenden Messungen wegen der relativen Bewegung der Röhre gegenüber dem Meßpunkt ein unabdingbares Kriterium dar.

Das Meßgerät arbeitet mit einer Kunststoff-Ionisationskammer, die hinsichtlich Wandmaterial und Gasfüllung luftäquivalent ist.

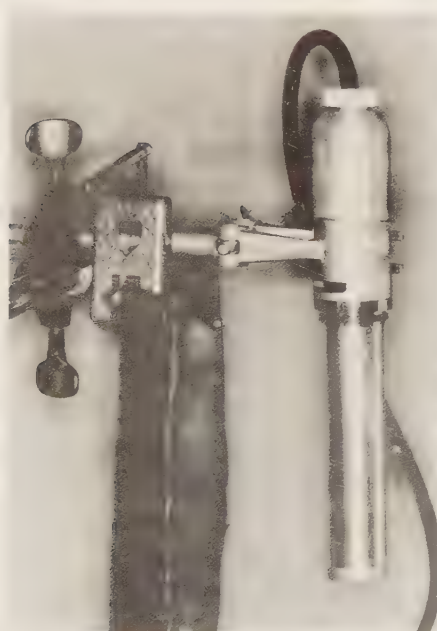


Abb. 2 - Ionisationskammer des TOL/E auf einem Stativ montiert und gegen Direktstrahlung halbseitig abgeschirmt durch ein 2,75 mm dickes Bleiblech

Die Ionisationskammer ist über ein Zweifachkabel (Hochspannung und Meßsignal) mit dem Meßgerät verbunden. Die Verstärkung erfolgt durch einen im Gerät eingebauten allseitig abgeschirmten Meßverstärker^{*)}.

^{*)} An dieser Stelle danken wir Herrn Dr. D. F. Regulla vom Institut für Strahlenschutz der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München für die Unterstützung bei dieser Arbeit.

Die für uns relevanten sechs linearen Grundmeßbereiche reichen von 0,3 mR bis 100 mR (Vollausschlag bei Dosismessung). Die Eichung erfolgt für diese Bereiche durch einmalige Einstellung der Hochspannung an einem Potentiometer unter Verwendung der Eichhülse I, die ca. 0,1 μCi Sr^{-90} enthält. Der Selbstablauf des Integrierkondensators ist größer als 10^5 Sekunden (= ca. 28 Std.) und kann damit in Relation zur Meßdauer eines Umlaufes (ca. 20 Sekunden) unberücksichtigt bleiben.

Da sich an das Meßgerät nur eine Meßkammer anschließen läßt, entfällt allerdings der Vorteil der synchronen multilokalen Meßanordnung der kleinen TLD-Detektoren im Koordinatensystem, wie sie von JACOBSON und FERGUSON verwendet wurden; andererseits konnte jedoch wegen der hohen Empfindlichkeit des TOL/E von vielen, die Röhre unnötig belastenden Umläufen abgesehen werden:

Unsere Messungen konnten sich vielmehr im Durchschnitt auf drei Dosismessungen pro Meßort beschränken.

Das TOL/E weist eine bereits bei den vorliegenden Messungen nicht vernachlässigbare Abhängigkeit der Anzeige von der Dosisleistung auf. Dieser Tatsache wurde durch Bestimmung von Korrekturfaktoren Rechnung getragen, die durch Vergleichsmessungen gegen dosisleistungsunabhängige Dosimeter (PITMAN E.I.L. Ionisationskammerdosimeter, Kammervolumen 50 cm^3) ermittelt wurden (vergleiche Tabelle).

Die radiologischen Vergleichsbedingungen wurden analog zu den Meßbedingungen der Panoramaaufnahmen gewählt und betrugen 60 kV und 2 mm Al Gesamtfilterung.

TOL/E	E.I.L.	TOL/E:E.I.L.	
2,68	3,15	0,84	
9,46	7,85	0,83	
6,34	5,35	0,84	
9,50	23,82	0,40	← Linearitätsgrenze

Wie den Werten der Tabelle zu entnehmen ist, kann das Verhältnis innerhalb der Linearitätsgrenze als konstant angesehen werden; daraus folgt, das TOL/E arbeitet in diesem Bereich nach Korrektur annähernd dosisleistungsunabhängig.

2. Phantom

Das menschenähnliche Alderson-Phantom, das als Ersatz für den Patienten zur Verfügung stand, besteht aus einem menschlichen Skelett, das mit gewebsäquivalentem Kunststoff umkleidet ist, d. h., der Kunststoff weist hinsichtlich Absorption, Reflexion und Streuung von Röntgenstrahlen Werte auf, die mit denen menschlichen Weichgewebes vergleichbar sind.

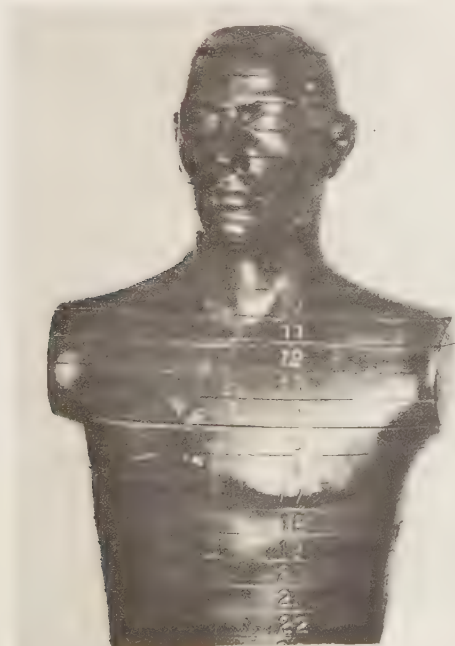


Abb. 3 - Alderson-Phantom

Die Gewebsschichten und die Körperhöhlen sind entsprechend den anatomischen Gegebenheiten gestaltet. Das Phantom hat keine Extremitäten; der Rumpf besteht aus horizontalen Scheiben gleicher Dicke, was das Einlegen von kleinen Strahlendetektoren ins Körperinnere ermöglicht und den Transport des Phantoms erleichtert.

3. Versuchsanordnung

3.1. Lagebeziehung: Phantom - Röntgengerät

Der Kopf des Phantoms wurde beim Orthopantomograph und Dental-Tomograph auf eine Höhe von 160 cm eingestellt, was im Durchschnitt der Kopfhöhe des stehenden Patienten entspricht. Beim Panorex wurde die sitzende Position des Patienten durch Einstellung des Phantomkopfes auf 120 cm berücksichtigt. Die Höhe des Phantomkopfes (Meßpunkt: rima oris) entspricht jeweils der Nutzstrahlenebene.



Abb. 4 - Versuchsaufbau am Beispiel des Panorex mit Phantom und Ionisationskammer (links vorne) in situ

3.2. Lagebeziehung: Röntgengerät - Ortsdosismesspunkte

Da davon ausgegangen werden muß, daß durch häufige Strahlenexposition in erster Linie der Zahnarzt und sein Hilfspersonal gefährdet sind, wurden die Meßebenen in die durchschnittliche Kopf- (160 cm) und Gonadenhöhe (80 cm) des stehenden Menschen gelegt.

Beim Panorex wurde aus Vergleichsgründen zusätzlich die Nutzstrahlenebene (120 cm) ausgemessen, die bei den beiden anderen Geräten mit der Ebene in Kopfhöhe kongruent ist. Bezugspunkt für die Entfernungen innerhalb einer Ebene sind die Schnittpunkte der jeweiligen Ebene mit dem Lot, von der rima oris des Phantoms aus. Von diesem Lot als Mittelpunkt aus sind gedachte horizontale Kreise mit den Radien 75 cm, 100 cm und 150 cm gezogen. Die so entstandenen Kreisflächen wurden in Sektoren von 30° eingeteilt, am Wandstativ mit 0° beginnend und im Uhrzeigersinn fortschreitend. Als Meßpunkte dienten wegen räumlicher Gegebenheiten maximal die Winkelwerte zwischen 60° und 300° (vergleiche Abb. 5 - 7). Die Kreise mit $r = 75$ cm liegen bei allen drei Geräten unmittelbar hinter der Kassettenumlaufbahn; die Entfernung 150 cm entspricht dem durch Konvention festgelegten Mindestabstand des Untersuchenden und eventuell anwesenden Hilfspersonals während der Einschaltdauer des Röntgengerätes, weshalb diesen Werten besondere Bedeutung zukommt.

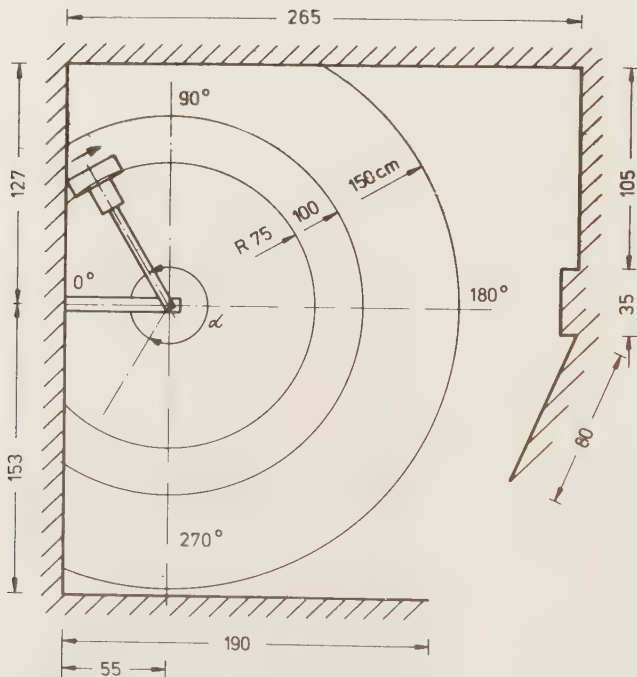


Abb. 5 - Lageplan um den Standort des Orthopantomographen
(Zahlenangaben in cm); α = Umlaufwinkel

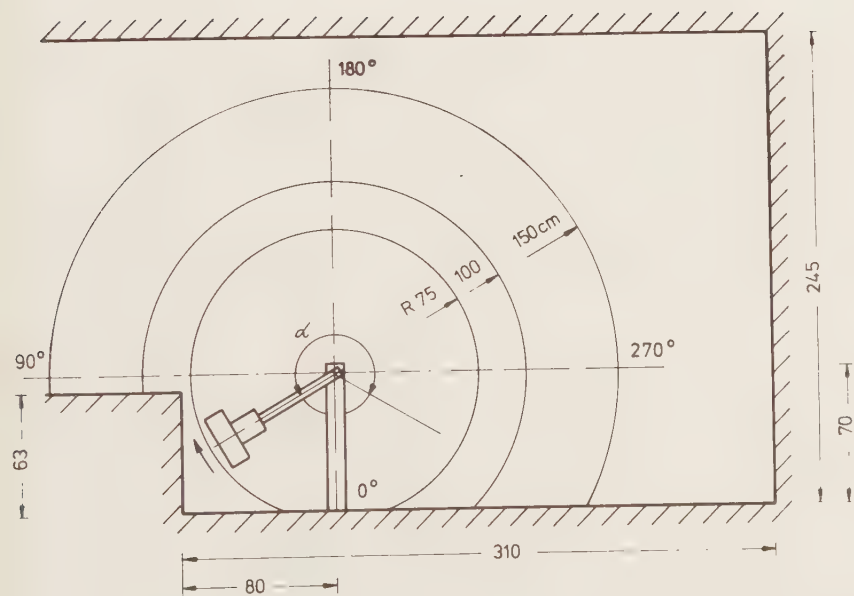


Abb. 6 - Lageplan um den Standort des Dental-Tomographen
(Zahlenangaben in cm); $\curvearrowright$ = Umlaufwinkel

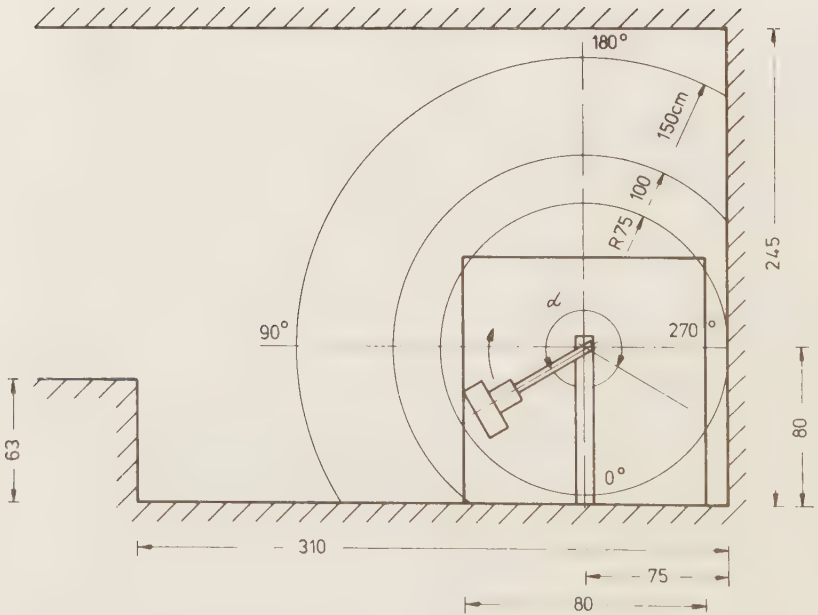


Abb. 7 - Lageplan um den Standort des Panorex
(Zahlenangaben in cm); α = Umlaufwinkel

E) Meßergebnisse

Die Ergebnisse beruhen auf 635 Messungen, die mit den in Abschnitt D) genannten Hilfsmitteln ausgeführt wurden.

1. Abhängigkeit der Dosis von der Entfernung des Meßpunktes vom Rotationszentrum des Gerätes unter verschiedenen Winkeln zur sagittalen Achse des Röntgengerätes

Als mittlere Gebrauchsspannung legten wir den Meßreihen im fortschreitenden Winkelabstand von jeweils 30° bei allen drei Geräten 60 kV Röhrenspannung zugrunde; nur quadrantenweise wurde zur Orientierung (bei eventuellem Fehlgebrauch) bei der jeweils höchstmöglichen Röhrenspannung von 85 kV beziehungsweise 90 kV gemessen.

Das Meßprotokoll (siehe Anhang) wurde tabellarisch geführt und ist nach folgenden Gesichtspunkten geordnet:

- Höhe der Meßebene
- Radius des Meßkreises
(Abstand vom Mittelpunkt des Gerätes)
- Winkelbereich (60° - 300°)
- kV-Zahl
- Nummer der Messung (I, II oder III)

Die Ergebnisse sind anschließend für jedes Gerät und jede Ebene in Isodosenkurven dargestellt, um dem Praktiker damit bei der Ermittlung des günstigsten Standpunktes die Übersicht zu erleichtern.

Durch Kreise unterbrochene Linien bei dieser Darstellungsart stellen eine Interpolation dar (unter Zugrundelegung von Symmetrieeigenschaften). Mitunter wurden einzelne Dosislinien weggelassen, um die Übersichtlichkeit zu wahren. Dem Zahnarzt ist somit die Möglichkeit gegeben, auf den ersten Blick für jedes der drei Geräte den günstigsten Aufenthaltsort während der Röntgenaufnahme für sich und seine Mitarbeiter festzustellen und damit eine unnötige Strahlenexposition zu vermeiden.

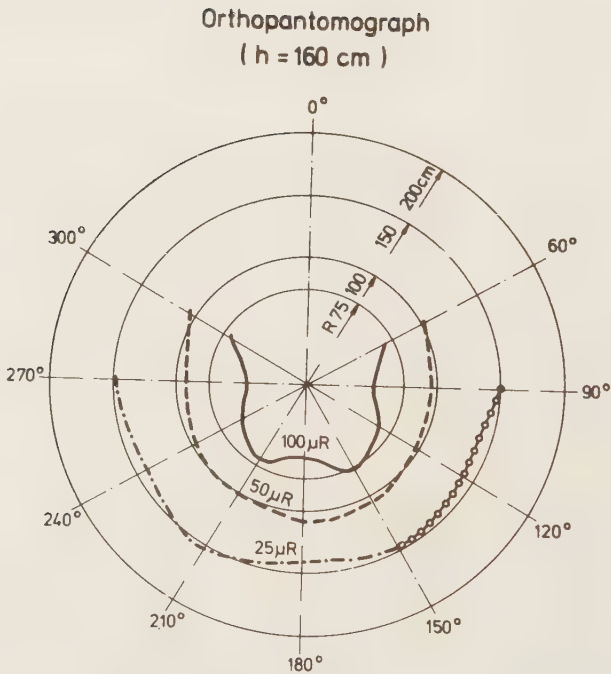


Abb. 8 - Ortsdosisverteilung, gemessen am Orthopantomograph - dargestellt in Isodosenkurven -
Höhe der Meßebeine: 160 cm; Röhrenspannung 60 kV
Dosisangaben gelten für einen Röhrenumlauf

Orthopantomograph
($h = 80 \text{ cm}$)

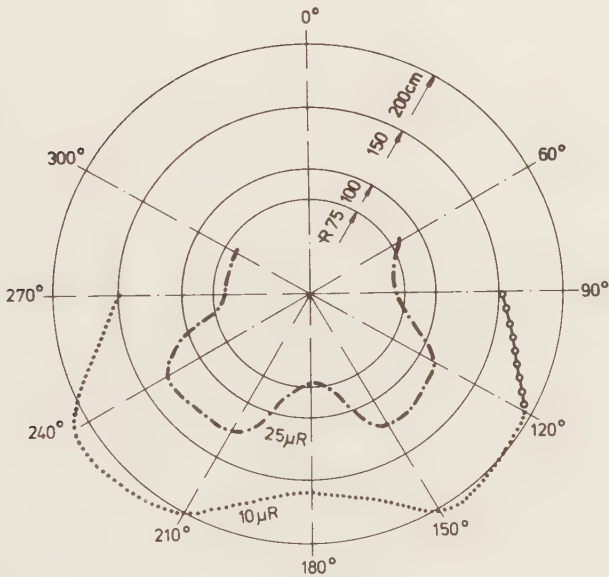


Abb. 9 - Ortsdosisverteilung, gemessen am Orthopantomographen - dargestellt in Isodosenkurven -
Höhe der Meßebe: 80 cm ; Röhrenspannung 60 kV
Dosisangaben gelten für einen Röhrenumlauf

Dental-Tomograph
($h = 160 \text{ cm}$)

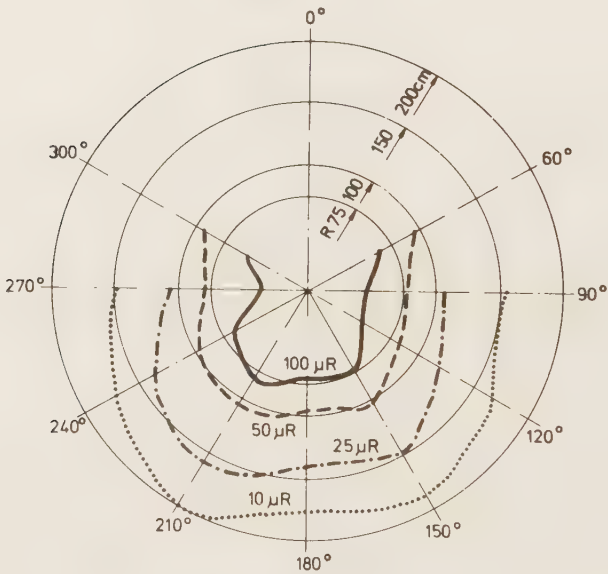


Abb. 10 - Ortsdosisverteilung, gemessen am Dental-Tomographen - dargestellt in Isodosenkurven -
Höhe der Meßebene: 160 cm; Röhrenspannung 60 kV
Dosisangaben gelten für einen Röhrenumlauf

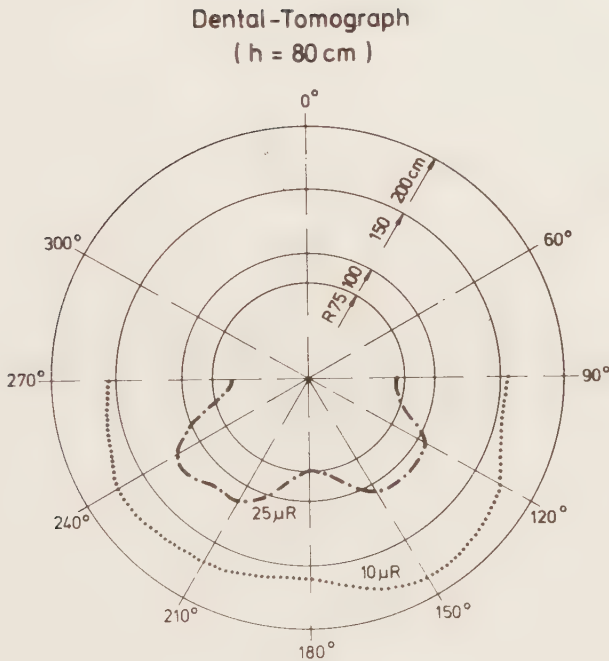


Abb. 11 - Ortsdosisverteilung, gemessen am Dental-Tomographen - dargestellt in Isodosenkurven -
Höhe der Meßebene: 80 cm; Röhrenspannung 60 kV
Dosisangaben gelten für einen Röhrenumlauf

Panorex
($h = 160 \text{ cm}$)

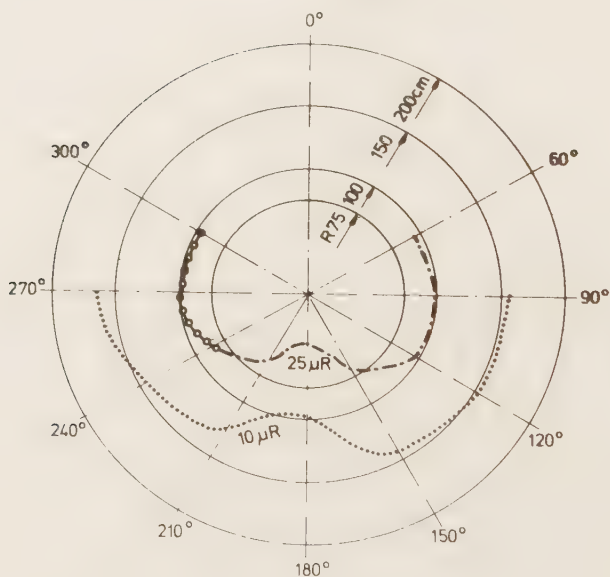


Abb. 12 - Ortsdosisverteilung, gemessen am Panorex
- dargestellt in Isodosenkurven -
Höhe der Meßebene: 160 cm; Röhrenspannung 60 kV
Dosisangaben gelten für einen Röhrenumlauf

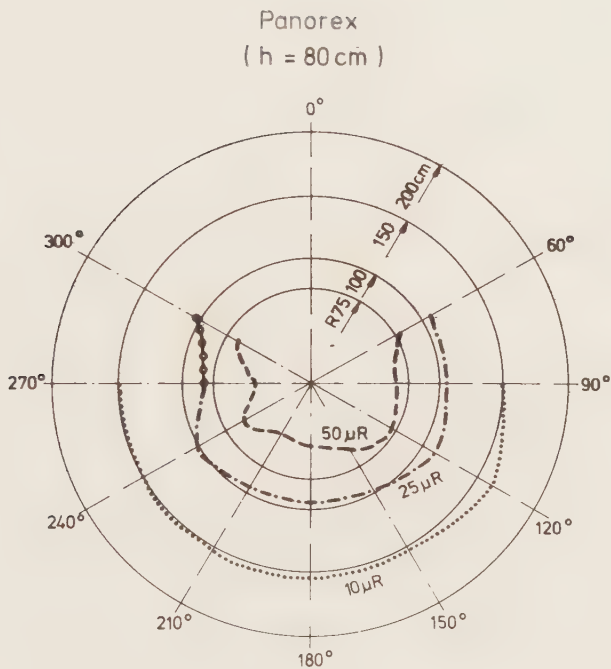


Abb. 13 - Ortsdosisverteilung, gemessen am Panorex
- dargestellt in Isodosenkurven -

Höhe der Meßebene: 80 cm; Röhrenspannung 60 kV
Dosisangaben gelten für einen Röhrenumlauf

Panorex
($h = 120 \text{ cm}$)

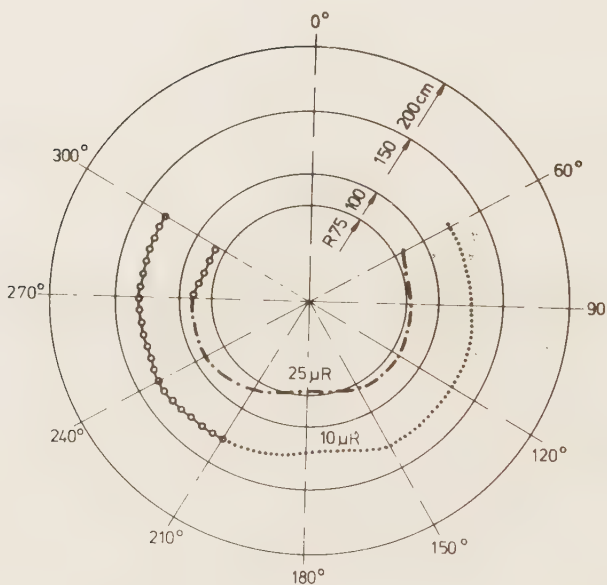


Abb. 14 - Ortsdosisverteilung, gemessen am Panorex
- dargestellt in Isodosenkurven -

Höhe der Meßebene: 120 cm; Röhrenspannung 60 kV
Dosisangaben gelten für einen Röhrenumlauf

2. Abhängigkeit der Dosis von der Röhrenspannung

Die Messungen erfolgten in Kopf- und Gonadenhöhe des Zahnarztes (160 cm und 80 cm) bei verschiedenen Winkeln als Parameter (Winkelabstand 45°) und einer konstanten Entfernung von 100 cm vom Gerätezentrum.

Bei allen Meßreihen wurde mit Phantom und eingelegter Kassette, also unter angenommenen Aufnahmebedingungen gearbeitet.

Die Tabellen des Meßprotokolls sind im Anhang aufgeführt, eingeteilt nach:

- Höhe der Meßebene
- kV-Zahl (55 - 85 bzw. 90 kV)
- Winkelbereich (90° - 180° bzw. 180° - 270°)

Aus den Ergebnissen wurden für jedes der drei Geräte bei gegebenen Meßebenen und Winkeln Dosiskurven in Abhängigkeit von der Röhrenspannung ermittelt und in den nachfolgenden Diagrammen dargestellt.

Orthopantomograph

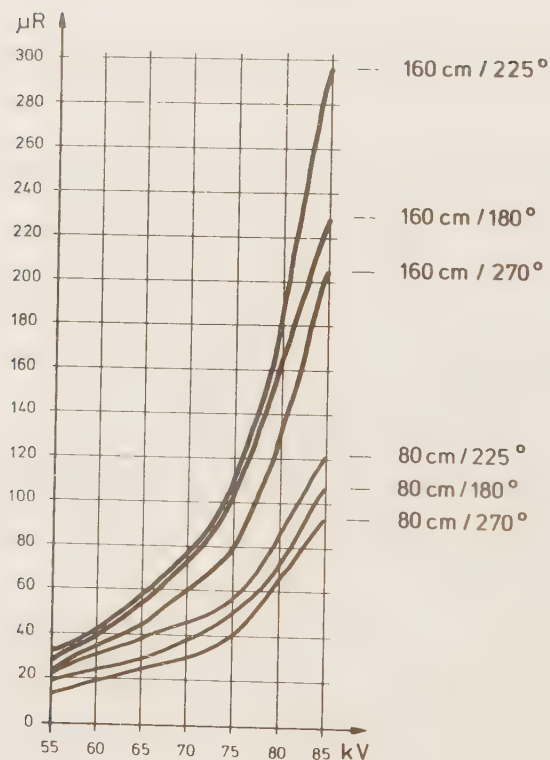


Abb. 15 - Abhängigkeit der Ortsdosis von der Röhrenspannung, gemessen am Orthopantomographen in Kopf- (160 cm) und Gonadenhöhe (80 cm) des Zahnarztes im Abstand $r = 100$ cm unter verschiedenen Winkeln als Parameter (Messungen mit Phantom und Kassette)

Dental - Tomograph

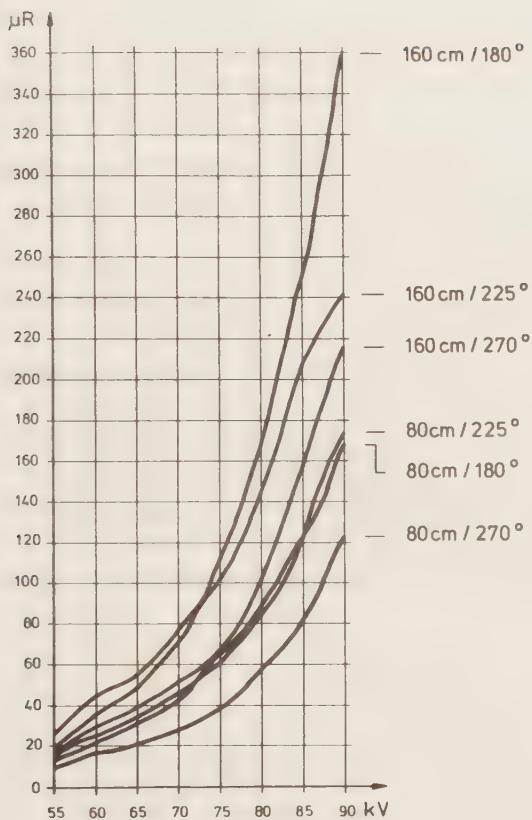


Abb. 16 - Abhängigkeit der Ortsdosis von der Röhrenspannung, gemessen am Dental-Tomographen in Kopf- (160cm) und Gonadenhöhe (80 cm) des Zahnarztes im Abstand $r = 100$ cm unter verschiedenen Winkeln als Parameter (Messungen mit Phantom und Kassette)

Panorex

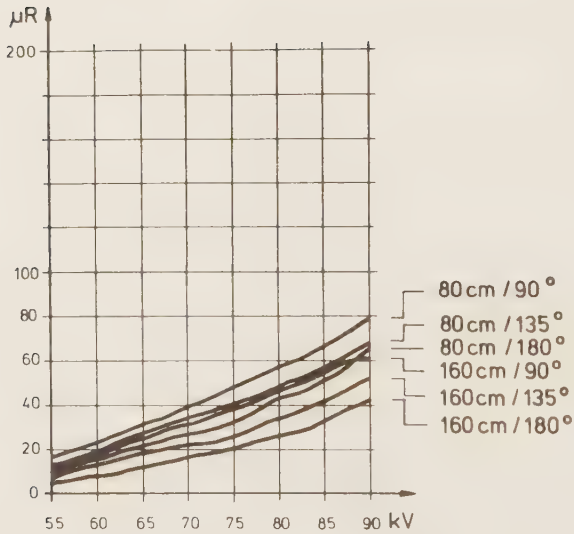


Abb. 17 - Abhängigkeit der Ortsdosis von der Röhrenspannung gemessen am Panorex in Kopf- (160 cm) und Gonadenhöhe (80 cm) des Zahnarztes im Abstand $r = 100$ cm unter verschiedenen Winkeln als Parameter (Messungen mit Phantom und Kassette)

3. Zentrierung des Nutzstrahles

(gemessen am Kassettenunterrand)

Mit Hilfe von Röntgenfilmen des Formates 13 x 18 cm, die während dreier Umläufe an der Rückseite der Filmkassette fixiert waren, sollte ermittelt werden, um wieviele Millimeter der Unterrand der Kassettenblende von Direktstrahlung überragt wird.

Die Messungen ergaben als Mittelwert

beim Orthopantomographen 3 mm

beim Panorex 9 mm

beim Dental-Tomographen 15 mm

Diese Angaben lassen eine direkte Aussage über die Exaktheit der Zentrierung der Nutzstrahlung zu; dieser Feststellung kommt insofern große Bedeutung zu als Strahlung, die den Unterrand der Kassette passiert, den Behandler ohne Abschirmung durch die Bleirückwand der Kassette treffen kann und für die Ortsdosiswerte, vor allem in Gonadenhöhe, in hohem Maße ausschlaggebend ist.

4. Direktstrahlung - Streustrahlung

Die von der Wand reflektierte Streustrahlung wurde meßtechnisch durch eine halbseitige Abschirmung der Meßsonde vor dem Nutzstrahlenkegel mittels einer Bleiplatte der Dicke $Pb = 2,75 \text{ mm}$ isoliert erfaßt (vergleiche Abb. 2).

Die Messungen erfolgten in der Nutzstrahlenebene im rechten Winkel zur Gerätehauptachse (also in 90° und 270°) in den Entfernungen 75 cm und 100 cm von der zentralen Rotationsachse unter Verwendung des Alderson-Phantoms.

Wie aus den Meßprotokollen (siehe Anhang) zu ersehen ist, liegen die Werte für die isoliert gemessene Streustrahlung immer unter 25 %, meist unter 10 %, in einigen Fällen sogar nur bei 4 % der ohne Abschirmung gemessenen Ortsdosen.

Die Diskrepanzen innerhalb dieser Werte sind sowohl auf unterschiedliche Entfernungen zur Wand als auch auf verschiedene Wandmaterialien (Blei, Bleiglas, Barytputz) zurückzuführen.

Allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht abgeleitet werden.

5. Dosis im Zentrum

Im Rahmen des Ortsdosisvergleiches der drei Panorama-Schichtaufnahmegeräte wurde orientierend auch die Maximaldosis im Bereich der zentralen Rotationsachse der Röntgenröhre bestimmt. Gemessen wurde in der Nutzstrahlenebene (= Röhrenhöhe) bei 60 kV und bei 85 bzw. 90 kV ohne Alderson-Phantom.

Während zwischen den drei Geräten bei 60 kV kaum Unterschiede feststellbar waren, traten bei 85 bzw. 90 kV deutliche Abweichungen zu Tage, die jedoch in Einklang zu bringen sind mit den Standarddaten der Geräte (siehe Anhang).

Der Wert von 500 mR beim Orthopantomographen ist wohl mit der im Vergleich um 2 bzw. 3 mA höheren Stromstärke zu erklären, der Wert von nur 200 mR beim Panorex liegt in der um 0,5 mm Al höheren Gesamtfilterung begründet.

Der Wert beim Dental-Tomograph ist mit 300 mR dazwischen anzusiedeln.

F) Diskussion und Schlußfolgerungen

1. Vergleich der eigenen Messungen mit denen anderer Autoren

Vor der kritischen Betrachtung der eigenen Ergebnisse sei zunächst noch einmal ein Vergleich mit den Messungen anderer Autoren - siehe Tabelle - angestellt.

Vergleicht man unsere Ergebnisse am Panorex mit denen von JACOBSON und FERGUSON (4), so konnte in der Gonadenebene bei 90 kV Röhrenspannung, 100 cm von der Geräteachse und im Winkel von 90° von uns nur ein Wert von 85 μR gegenüber 170 μR bei JACOBSON und FERGUSON gemessen werden. Ursache für deren höheren Wert dürfte die geringere Filterung von nur 1,83 mm Al Gleichwert sein gegenüber 2,5 mm bei unseren Untersuchungen. (Das von JACOBSON und FERGUSON verwendete Gerät entstammte der Produktion vor dem 18. August 1971; seit diesem Zeitpunkt werden laut Werksangabe serienmäßig 2,5 mm Al Gleichwert Filter eingebaut.)

In den von JACOBSON und FERGUSON untersuchten und mit unseren Messungen vergleichbaren Bereichen (Röhrenspannung 90 kV; Höhe 80 cm und 112,5 cm; Meßabstand vom Gerätezentrum $r = 80$ cm und 100 cm) stimmt die Verteilung der Maxima in fast allen Werten überein; d. h., die höchsten Dosen treten im rechten Winkel zur Hauptachse des Gerätes auf, ein Effekt, der auf den bei 180° unterbrochenen Belichtungsablauf zurückzuführen ist (vergleiche Orthopantomograph und Dental-Tomograph).

Unsere Untersuchungen haben ergeben, daß nicht generell von der Annahme ausgegangen werden kann, die Ortsdosen seien symmetrisch zur Gerätehauptachse. Es stellt sich vielmehr eine Seitendiskrepanz dar, die abhängig ist von der Aufstellung im Raum in bezug auf reflektierende Flächen.

Über Aufstellung und Standort machen JACOBSON und FERGUSON jedoch keinerlei Angaben.

Die von ROTTKE und BUCHMANN (9) ermittelten Werte am Dental-Tomographen sind nur sehr bedingt mit unseren Messungen vergleichbar, da die beiden Autoren bei 80 kV Röhrenspannung arbeiten und weder die Meßebene noch Art und Ausrichtung der Kondensatorkammern definiert sind. Nimmt man einmal an, daß ihre Messungen auch der Gonadenebene ($h = 80$ cm) zuzuordnen sind, was von den Meßwerten her sehr wahrscheinlich ist, so sind die überraschend einheitlichen und symmetrischen Werte der Standardionendosis pro Aufnahme (80 kV / 240 mAs) im Abstand von 75 cm vom Gerätezentrum ((9), S. 133, Abb. 7) wie auch die daraus errechnete Belastung für den Untersucher im Abstand von 150 cm vom Gerätezentrum mit maximal 50 μ R bei 80 kV wohl als etwas zu niedrig anzusehen.

Nach unseren Untersuchungen am Dental-Tomographen bewegen sich die Werte in Abhängigkeit vom jeweiligen Winkel bei 90 kV Röhrenspannung zwischen 64 μ R (90°) und 94 μ R (180°) in der Gonadenebene ($h = 80$ cm) und sogar zwischen 73 μ R (90°) und 227 μ R (180°) in Röhrenhöhe ($h = 160$ cm) im Abstand von 150 cm vom Gerätezentrum (siehe Tabelle im Anhang).

Abgesehen von dem anderen Meßverfahren unterscheidet sich die Arbeit von ROTTKE und BUCHMANN (9) auch durch Verwendung eines anderen Form des Phantoms (3 M-Kopfphantom), was unter sonst gleichen Bedingungen Abweichungen möglich macht.

Der Hauptteil unserer Messungen zielt nicht wie obige Arbeiten so sehr darauf ab, Werte bei maximaler Röhrenbelastung zu erstellen, er soll vielmehr dem Zahnarzt unter Durchschnichtsbedingungen ermittelte Werte in die Hand geben, die dem täglichen Praxisbetrieb sehr nahe kommen:

Wir wählten bei allen drei Geräten eine mittlere Gebrauchsspannung von 60 kV, was auch den Vergleich der drei Geräte rechtfertigt, und stellen erst dann für jedes der drei Geräte unter genau definierten Bedingungen (siehe oben) Kennlinien auf, die die Abhängigkeit der Dosis von der anliegenden Röhrenspannung erkennen lassen.

Erfrasser	Röntgen- gerät	Röntgen- spannung	Strom	Belichtungszeit	Filter	Meßebe- ne	Abstand	Winkel	Phantom + Meßgerät	Ergebnisse (Dosis)
ACOBSON FRULSON 1973	Panorex (S. S. White)	90 kV	13 mA	$22 - 2 = 20 \pm 1 \frac{1}{2}$	1,83 mm Al	80 cm + + 112,5 cm	60 cm 80 cm 100 cm	0 - 180° alle 30° Symmetrie	Rando (= Alderson!) TLDs Lif + Caf ₂ 3 x 3 x 0,1 mm in 3er-Gruppen	h = 80 cm r = 100 cm bei 600 Aufnahmen ≤ 100 mR daraus folgt: ≤ 170 µR/Aufnahme (bei 90° ?)
OTTKE UCHMANN 1974	Dental- Tomograph (Philips- Mueller)	80 kV	12 mA	nicht genannt Anmerkung: Werksangabe = 20 s	?	?	75 cm	45° - Abstand	3-M-Schädel- Phantom; Kondensator- kammern (Typ?)	h = ? r = 75 cm 100 µR 150 µR errechnet: r = 150 cm immer < 50 µR
ONNABEND SACHMANN 1976	Orthopa- tomograph (Siemens) Panorex (S. S. White) Dental- Tomograph (Philips- Mueller)	60 kV + 85 kV 60 kV + 90 kV 60 kV + 90 kV	15 mA 13 mA 12 mA	13 s 20 s 20 s	2 mm Al 2,5 mm Al 2 mm Al	160 cm 80 cm 160 cm 120 cm 80 cm 160 cm 80 cm	75 cm 100 cm 150 cm 75 cm 100 cm 150 cm 75 cm 100 cm 150 cm	60° - 300° (alle 30°) wo möglich 60° - 300° (alle 30°) wo möglich 60° - 300° (alle 30°) wo möglich	TOL/E Ionisations- kammer mit Gasverstärkung mit soforti- ger Dosisinte- gration; Alderson- Phantom	siehe Tabellen im Anhang

Vergleichen Sie die Ergebnisse anderer Autoren über Ortsdosismessungen an Panorama-Schichtaufnahmegeräten:

Einfluß der Röhrenspannung

Wie aus den Abbildungen 15 - 17 und dem Meßprotokoll im Anhang ersichtlich ist, bedingt eine Erhöhung der Röhrenspannung bei sonst unveränderten Aufnahmebedingungen eine erhebliche Steigerung der Ortsdosis, die bei einer Erhöhung um 30 kV (von 55 kV auf 85 kV bzw. von 60 kV auf 90 kV) beim Orthopantomographen und beim Dental-Tomographen in Kopfhöhe bis zum Neunfachen des Ausgangswertes ansteigt. In Gonadenhöhe beträgt der Anstieg immer noch bis zum Sechsfachen beim Orthopantomographen und bis zum Siebenfachen beim Dental-Tomographen. Der Panorex ließ wegen der höheren Filterung von 2,5 mm Al nur eine Steigerung auf das Fünffache in Kopfhöhe (160 cm) und auf das Vierfache in Gonadenhöhe zu.

Diese hohen Faktoren lassen erkennen, daß der Zahnarzt auch im Hinblick auf seinen eigenen Schutz die Spannung nicht höher wählen sollte, als für ein gutes, kontrastreiches Röntgenbild notwendig ist.

Vergleich der drei Geräte untereinander und ihre konstruktionsbedingten Unterschiede

Vergleicht man die ermittelten Werte für die verschiedenen Entfernungen von der zentralen Rotationsachse, so ist festzustellen, daß nur in Höhe der Röhrenebene - also beim Orthopantomographen und beim Dental-Tomographen in 160 cm und beim Panorex in 120 cm - die Ortsdosen annähernd dem quadratischen Abstandsgesetz gehorchen. Ursache dafür ist, daß nur in der Röhrenebene die Strahlenquelle wegen des zum gesamten Phantom relativ geringen Kopfvolumens als punktförmig im Rotationszentrum vereinigt anzusehen ist, während in der Gonadenebene das stark streuende Korpus des Phantoms die Hauptstrahlenquelle darstellt (SAUTER (10), S. 49). Hinzu kommt, daß nur in Höhe des Phantomkopfes Meßebene und Hauptstrahlungsebene als nahezu kongruent gelten können. (Alle drei Röhren sind aus abbildungstechnischen Gründen leicht nach oben gewinkelt.)

Ein qualitativer Vergleich der Isodosen untereinander zeigt beim Orthopantomographen und beim Dental-Tomographen in der Gonadenebene eine ausgeprägte Schmetterlingsform, d. h., die Einziehungen der Isodosen sind im rechten Winkel zur Gerätehauptachse (90° und 270°) am stärksten. Beim Panorex liegt die größte Einziehung der Kurve in der Verlängerung der Gerätehauptachse (180°), was, wie oben erwähnt, mit der konstruktionsbedingten Unterbrechung des Expositionsablaufes an dieser Stelle zu erklären ist.

Die quantitative Betrachtung läßt erkennen, daß bei einer durchschnittlichen Gebrauchsspannung von 60 kV und 150 cm Entfernung vom Gerätezentrum in Augenhöhe des Zahnarztes ($h = 160$ cm) ein Wert von 25 μ R beim Orthopantomographen und Dental-Tomographen kaum überschritten wird, beim Panorex unter anderem wegen der tiefer liegenden Röhrenebene ($h = 120$ cm) (sitzender Patient!) sogar nur etwa 10 μ R erreicht werden.

In der Gonadenebene ist nicht, wie vielleicht zu erwarten wäre, die Dosis beim Panorex höher als bei den beiden anderen Geräten, sie übersteigt vielmehr in 150 cm Entfernung vom Gerätezentrum auch in dieser Ebene den Wert von 10 μ R nur unerheblich, wohingegen beim Orthopantomographen und beim Dental-Tomographen 20 μ R teilweise überschritten werden (beim Orthopantomographen stärker richtungsabhängig).

Der Grund für diese höheren Ortsdosen liegt sehr wahrscheinlich allein in der gegenüber dem Panorex um 0,5 mm Al Gleichwert geringeren Filterung der beiden anderen Geräte.

4. Beziehung zu gesetzlich festgelegten Werten (Kontroll- und Überwachungsbereich)

In § 15, Abs. 1, 2 und 5 der Röntgenverordnung (RöV) vom 01.03.73 (18) sind vom Bundesminister für Jugend, Familie und Gesundheit die höchstzulässigen Dosen, bei denen ausreichende Sicherheit gewährleistet ist, festgelegt worden:

Kontrollbereich ist "der Bereich, in dem Personen eine höhere Äquivalentdosis als ... 1,5 rem im Jahr erhalten können. Dieser Bereich muß während der Einschaltzeit gekennzeichnet sein".

Überwachungsbereich ist "der an einen Kontrollbereich angrenzende Bereich, in dem Personen eine höhere Äquivalentdosis als ... 0,15 rem im Jahr erhalten können".

Zahnärzte und die in § 20, Abs. 1, Nr. 4 (RöV), bezeichneten Personen dürfen sich zwar nach § 18, Abs. 1, Nr. 1 und 3 (RöV) im Kontrollbereich aufhalten, "soweit das zur Durchführung der Röntgenuntersuchung erforderlich ist", eine solche Notwendigkeit kann nach unserem Ermessen für den Bereich der zahnärztlichen Röntgenologie jedoch weitgehend ausgeschlossen werden.

Zahnärzte und deren Hilfspersonal sind also nicht nach § 2, Abs. 1 (RöV), "im Sinne dieser Verordnung beruflich strahlen-

exponierte Personen", da sie sich nicht "aufgrund ihrer Tätigkeit gewöhnlich in einem Kontrollbereich aufhalten".

Zahnärzte und deren Hilfspersonal zählen vielmehr zu der in § 34, Abs. 4 (RöV), näher definierten Personengruppe, "die sich in Überwachungsbereichen aufhält" und deren "auf ein Jahr verteilte aufgenommene Äquivalentdosis höchstens 0,5 rem betragen darf".

Damit kann auch auf die in § 19 (RöV) näher bezeichnete "Schutzbekleidung gegen Röntgenstrahlen" verzichtet werden, wenn gewährleistet ist, daß der Untersucher sich außerhalb des Kontrollbereiches aufhält. (Für Patienten gilt § 25, Abs. 1!) Ebenso entfällt in der Regel § 40, Abs. 1 (RöV), wonach "Personen, die sich im Kontrollbereich aufhalten", zur Messung der Personendosis verpflichtet sind.

In den Ausführungsbestimmungen zum Vollzug der Röntgenverordnung in Bayern (19) wird jedoch "die Benutzung jederzeit ablesbarer Dosimeter auch bei der gelegentlichen Überwachung von Personen empfohlen, deren Aufenthalt im Kontrollbereich nur durch besondere Umstände erforderlich wird, z. B. bei Angehörigen, die hilfsbedürftigen Patienten während der Röntgenuntersuchung Hilfestellung leisten".

Bezieht man diese gesetzlich festgelegten Werte auf die drei von uns untersuchten Geräte, so läßt sich errechnen, wieviele Aufnahmen der Zahnarzt im Jahr (Monat) herstellen kann, ohne sich selbst und sein Personal in Gefahr zu bringen:

Als mögliche Höchstzahl an Aufnahmen pro Jahr (Monat), die unter Verzicht auf Schutzkleidung gemacht werden können, ohne daß die Grenzwerte für den Überwachungsbereich ($0,15 \text{ R/Jahr} = 150.000 \text{ } \mu\text{R/Jahr}$) erreicht werden, ergeben sich, wenn man von der gemessenen Maximalbelastung des Zahnarztes in 150 cm Entfernung vom Gerätezentrum bei einer durchschnittlichen Röhrengebrauchsspannung von 60 kV ausgeht, folgende Werte:

Gerät	Gemessene Maximalbelastung pro Aufnahme in r=150 cm	Aufnahmen/Jahr	Aufnahmen/Monat
Orthopantomograph	25 μ R	6.000	500
Dental-Tomograph	25 μ R	6.000	500
Panorex	12,5 μ R	12.000	1.000

Als mögliche Höchstzahl an Aufnahmen pro Jahr (Monat), die unter Verzicht auf Schutzkleidung gemacht werden können, ohne daß die für den Zahnarzt nach § 34, Abs. 4 (RöV), zugelassene Höchstbelastung von 0,5 R/Jahr (= 500.000 μ R/Jahr) erreicht wird, ergeben sich, wenn man von der gemessenen Maximalbelastung des Zahnarztes in 75 cm Entfernung vom Gerätezentrum (also einem angenommenen Standort unmittelbar hinter der Kassettenumlaufbahn!) bei einer durchschnittlichen Röhrengebrauchsspannung von 60 kV ausgeht, folgende Werte:

Gerät	Gemessene Maximalbelastung pro Aufnahme in r=75 cm	Aufnahmen/Jahr	Aufnahmen/Monat
Orthopantomograph	100 μ R	5.000	417
Dental-Tomograph	120 μ R	4.167	347
Panorex	50 μ R	10.000	833

Der Kontrollbereich (1,5 R/Jahr) würde folglich erst dann berührt, wenn bei gleicher Röhrenspannung die dreifache Anzahl an Aufnahmen überschritten wird.

Bei der Maximalspannung von 85 bzw. 90 kV ergeben sich analog für den Überwachungsbereich (0,15 R/Jahr):

Gerät	Gemessene Maximalbelastung pro Aufnahme in r=150 cm (vergleiche Anhang!)	Aufnahmen/Jahr	Aufnahmen/Monat
Orthopan-tomograph	127 μ R	1.180	98
Dental-Tomograph	227 μ R	660	55
Panorex	39 μ R	3.850	321

und für die zugelassene Höchstbelastung von 0,5 R/Jahr:

Gerät	Gemessene Maximalbelastung pro Aufnahme in r=75 cm (vergleiche Anhang!)	Aufnahmen/Jahr	Aufnahmen/Monat
Orthopan-tomograph	545 μ R	920	77
Dental-Tomograph	820 μ R	610	51
Panorex	131 μ R	3.820	318

Der Kontrollbereich (1,5 R/Jahr) wird auch hier erst berührt, wenn bei gleicher Röhrenspannung die dreifache Anzahl an Aufnahmen überschritten wird.

5. Folgerungen für bautechnische Strahlenschutzvorkehrungen

Bautechnische Strahlenschutzvorkehrungen sind laut DIN 6814, Blatt 5, Abs. 9.2 (20), "Teile eines Bauwerkes oder daran angebrachte Vorrichtungen, durch die Strahlungsbereiche abgegrenzt oder eingeeignet werden".

Gemäß § 16 (RöV) ist "die Röntgenuntersuchung so vorzunehmen, daß das Nutzstrahlenbündel keine andere als die zu untersuchende Person ... treffen kann".

Hinsichtlich des benötigten bautechnischen Strahlenschutzes ergeben sich in unserem Fall besonders einfache Bedingungen, da aus den von uns untersuchten Geräten kaum ungeschwächte Direktstrahlung austreten kann (vergleiche S. 28). Der Kontrollbereich liegt selbst bei sehr hoher Aufnahmefrequenz immer im Schwenkbereich der Röntgenröhre, so daß § 17, Abs. 2 (RöV), wonach in diesem Bereich "keine Arbeitsplätze, Verkehrswege oder Umkleidekabinen liegen" dürfen, gegenstandslos wird.

Selbst wenn eines der drei Geräte nicht in einem "bezeichneten allseitig umschlossenen Raum (Röntgenraum) betrieben wird" dürfte der in § 17, Abs. 3 (RöV), geforderte Grenzwert von 0,5 rem/Jahr kaum überschritten werden (siehe oben).

Auch die Forderungen des § 17, Abs. 5 (RöV), der die Ortsdosen in umliegenden Räumen regelt, "die Wohnzwecken oder dem dauernden Aufenthalt von Personen dienen, die nicht im Zusammenhang mit dem Betrieb einer Röntgeneinrichtung ... tätig sind", sind unseren Untersuchungen zufolge erfüllt, d. h., 0,15 rem/Jahr werden in diesen Bereichen keinesfalls überschritten.

Wegen der geringen Ortsdosiswerte wird in der Regel auch die im Februar 1974 nach DIN 6812, Abs. 5, geregelte Berechnung der erforderlichen Schutzschichten gegen Nutz- und Störstrahlung entfallen.

Lediglich die erste der in Abs. 6 festgelegten "zusätzlichen bautechnischen Strahlenschutzvorkehrungen" verdient auch im

Zusammenhang mit Panorama-Schichtaufnahmegeräten Beachtung,
wonach an jedem Röntgenapparat in der zahnärztlichen Pra-
xis ein Strahlenwarnzeichen anzubringen ist mit der Auf-
schrift:

Bei R Ö N T G E N A U F N A H M E
K E I N Z U T R I T T

Abstand mehr als 1,5 m !

G) Zusammenfassung

Als Ergebnis der Arbeit konnte die Röntgen-Ortsdosis im zahnärztlichen Praxisraum um drei Panorama-Schichtaufnahmegeräte (Orthopantomograph der Firma Siemens, Dental-Tomograph der Firma Philips-Mueller und Panorex der Firma S. S. White) in Kopf- und Gonadenhöhe des Untersuchers in Abhängigkeit von der Entfernung zur zentralen Rotationsachse des Gerätes, vom Winkel zur Gerätehauptachse und von der Röhrenspannung unter gleichen Bedingungen bei den drei Geräten dargestellt werden.

Die Ortsdosis wurde bei einer mittleren Gebrauchsspannung von 60 kV in drei verschiedene Radien um die Geräte (75 cm, 100 cm und 150 cm) und im Winkelbereich von 60° bis 300° in Abständen von 30° bestimmt.

Als Patientenersatz diente ein Alderson-Phantom. Gemessen wurde mit dem Strahlenschutzdosisleistungsmesser TOL/E, einer Ionisationskammer mit Gasverstärkung.

Unsere Untersuchungen stützen sich auf 635 Einzelmessungen. Die Bestimmung der Ortsdosen bei 60 kV Röhrenspannung ergab Werte von 5 - 125 μR , bei der Maximalspannung von 85 bzw. 90 kV traten Werte von 22 - 820 μR auf.

Die Verteilung und Zuordnung dieser Ergebnisse läßt die nachstehenden Schlußfolgerungen zu:

1. Der günstigste Standort ist beim Orthopantomographen und beim Dental-Tomographen senkrecht zur Gerätehauptachse (also bei 90° bzw. 270°), beim Panorex in der Gerätehauptachse (also bei 180°). Kann keine dieser als günstig erachteten Positionen zum Gerät eingenommen werden, so sollte als optimaler Selbstschutz der Abstand bei der Belichtung über den üblichen Wert (1,5 m) hinaus vergrößert werden. Dazu kann eine Verlängerung der Zuleitung zum Totmannschalter notwendig sein.

2. Nur in Röhrenhöhe gilt das quadratische Abstandsge-
setz annähernd; in den anderen Meßebenen (Gonaden!) ist
die Intensitätsabnahme wegen der stärkeren Streuung
durch den Rumpf des Patienten geringer.
3. Aus den Vergleichsmessungen der drei Geräte, die unter-
schiedliche Filterstärken aufwiesen, ergibt sich die
Forderung nach einer Mindestgesamtfiltrierung, die 2,5 mm
Al äquivalent ist.
4. Hält der Zahnarzt den empfohlenen Abstand von 1,5 m
ein, so kann er bei 60 kV Röhrenspannung unter Verzicht
auf Schutzkleidung monatlich mit dem Orthopantomographen
und dem Dental-Tomographen bis zu 500, mit dem Panorex
bis zu 1.000 Aufnahmen anfertigen, ohne den Überwachungs-
bereich (0,15 R/Jahr) zu tangieren. Arbeitet der Zahn-
arzt jedoch mit der Maximalspannung von 85 bzw. 90 kV,
so kann er mit dem Orthopantomographen ca. 100, mit dem
Dental-Tomographen nur ca. 50, mit dem Panorex jedoch
über 300 Aufnahmen monatlich anfertigen, ohne die gesetz-
lich vorgeschriebenen Werte für den Überwachungsbereich
zu überschreiten.
5. Die Untersuchungen über die Spannungsabhängigkeit der
Ortsdosen lassen erkennen, daß eine Steigerung um 30 kV
bei sonst unveränderten Standarddaten eine bis zu neun-
fache Erhöhung der Strahlenexposition für den Behandler
bedingt.
6. Messungen der Zentrierung des Nutzstrahlenbündels erga-
ben, daß bei allen Geräten unterhalb der bleiabgeschirm-
ten Kassettenrückwand ein bis zu 1,5 cm breiter Direkt-
strahlenkegel austreten kann und damit die Ortsdosiswer-
te (vor allem in Gonadenhöhe) negativ beeinflußt.

7. Die von der Wand reflektierte Streustrahlung liegt immer unter 25 %, meist sogar unter 10 % der ohne halbseitige Bleiabschirmung gemessenen Ortsdosiswerte und spielt, was den Selbstschutz des Behandlers betrifft, im Vergleich zum Schutz vor direkt vom Gerät ausgehender, gefilterter und ungefilterter Strahlung nur eine untergeordnete Rolle.
8. Außer einer Kennzeichnung an den Zugängen zum Röntgengerät in Form eines Strahlenwarnschildes sind, sofern der Zahnarzt und seine Mitarbeiter bei der Untersuchung einen ausreichenden Abstand vom Gerät einhalten, keine weiteren Strahlenschutzvorkehrungen notwendig, da aus den geprüften Geräten kaum Nutzstrahlung ungeschwächt austreten kann.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen ermöglichen es dem Zahnarzt, sich anhand der in dieser Arbeit erstellten Tabellen und Isodosenkurven über den jeweils für sein Röntgengerät günstigsten Standort während der Exposition zu orientieren. Die Wahl des günstigsten Standortes trägt neben anderen bekannten Faktoren, vor allem auch der Spannungswahl dazu bei, der aufgrund humangenetischer Erkenntnisse aufgestellten Forderung gerecht zu werden, alle Möglichkeiten auszuschöpfen, um die Strahlengefährdung klein zu halten.

H) Anhang

Meßprotokoll ORTHOPANTOMOGRAPH (Siemens)

Standarddaten:

Röhrenspannung: 60 kV (85 kV)
 Filterung: 2 mm Al
 Stromstärke: 15 mA
 Belichtungszeit: 13 s (Werksangabe: 15 s)

$h = 160 \text{ cm} / r = 75 \text{ cm}$

	60 kV			85 kV
	I	II	III	I
60°	92	91	90	
90°	78	78	76	218
120°	85	79	83	
150°	103	100	100	
180°	82	80	80	545
210°	97	93	96	
240°	83	81	83	
270°	76	76	78	345
300°	98	97	96	

$h = 160 \text{ cm} / r = 100 \text{ cm}$

	60 kV			85 kV
	I	II	III	I
60°	52	49	51	
90°	45	46	44	126
120°	47	46	46	
150°	52	54	52	
180°	55	54	56	315
210°	51	50	50	
240°	49	50	48	
270°	45	57	56	212
300°	56	57	56	

Meßprotokoll ORTHOPANTOMOGRAPH (Siemens) (2)

$h = 160 \text{ cm} / r = 150 \text{ cm}$

	60 kV			85 kV
	I	II	III	I
60°	--	--	--	
90°	--	--	--	
120°	--	--	--	
150°	23	22	24	
180°	21	22	20	127
210°	27	25	26	
240°	23	21	22	
270°	25	27	23	122
300°	--	--	--	

$h = 80 \text{ cm} / r = 75 \text{ cm}$

	60 kV			85 kV
	I	II	III	I
60°	27	26	25	
90°	18	19	17	84
120°	31	31	31	
150°	43	44	41	
180°	24	24	24	185
210°	42	40	41	
240°	41	41	41	
270°	23	20	22	127
300°	22	20	21	

Meßprotokoll ORTHOPANTOMOGRAPH (Siemens) (3)

$h = 80 \text{ cm} / r = 100 \text{ cm}$

	60 kV			85 kV
	I	II	III	I
60°	23	22	22	
90°	18	18	18	64
120°	30	28	27	
150°	33	31	30	
180°	24	22	23	124
210°	32	32	34	
240°	33	35	30	
270°	20	20	20	85
300°	20	19	17	

$h = 80 \text{ cm} / r = 150 \text{ cm}$

	60 kV			85 kV
	I	II	III	I
60°	--	--	--	
90°	--	--	--	
120°	--	--	--	
150°	20	20	19	
180°	12	14	13	58
210°	22	22	22	
240°	22	20	19	
270°	10	10	10	42
300°	--	--	--	

Meßprotokoll DENTAL-TOMOGRAPH (Philips-Mueller)

Standarddaten:

Röhrenspannung: 60 kV (90 kV)
 Filterung: 2 mm Al
 Stromstärke: 12 mA
 Belichtungszeit: 20 s (entspricht der Werksangabe)

$h = 160 \text{ cm} / r = 75 \text{ cm}$

	60 kV			90 kV
	I	II	III	I
60°	75	74	75	
90°	51	52	53	310
120°	56	51	54	
150°	100	95	92	
180°	95	93	89	820
210°	114	122	122	
240°	97	92	90	
270°	64	57	55	517
300°	74	69	71	

$h = 160 \text{ cm} / r = 100 \text{ cm}$

	60 kV			90 kV
	I	II	III	I
60°	--	--	--	
90°	27	29	28	165
120°	31	31	31	
150°	55	49	49	
180°	45	43	42	440
210°	58	59	55	
240°	50	47	48	
270°	31	27	30	340
300°	45	42	42	

Meßprotokoll DENTAL-TOMOGRAPH (Philips-Mueller) (2)

h = 160 cm / r = 150 cm

	60 kV			90 kV
	I	II	III	I
60°	--	--	--	
90°	12	11	11	73
120°	15	14	17	
150°	22	23	22	
180°	21	20	20	227
210°	27	25	27	
240°	21	21	20	
270°	10	10	9	99
300°	--	--	--	

h = 80 cm / r = 75 cm

	60 kV			90 kV
	I	II	III	I
60°	--	--	--	
90°	19	17	19	141
120°	22	23	22	
150°	20	20	21	
180°	22	26	24	255
210°	29	29	29	
240°	32	31	33	
270°	18	17	17	171
300°	5	6	5	

Meßprotokoll DENTAL-TOMOGRAPH (Philips-Mueller) (3)

$h = 80 \text{ cm} / r = 100 \text{ cm}$

	60 kV			90 kV
	I	II	III	I
60°	--	--	--	
90°	19	17	18	107
120°	27	25	25	
150°	26	27	26	
180°	22	20	20	127
210°	28	28	28	
240°	33	32	31	
270°	14	15	15	107
300°	13	14	12	

$h = 80 \text{ cm} / r = 150 \text{ cm}$

	60 kV			90 kV
	I	II	III	I
60°	--	--	--	
90°	12	10	12	64
120°	18	17	17	
150°	21	20	21	
180°	13	13	12	94
210°	18	17	18	
240°	22	20	21	
270°	13	12	13	78
300°	--	--	--	

Meßprotokoll PANOREX (S. S. White)

Standarddaten:

Röhrenspannung: 60 kV (90 kV)
 Filterung: 2,5 mm Al
 Stromstärke: 13 mA
 Belichtungszeit: 20 s (Werksangabe: 23 s)

$h = 160 \text{ cm} / r = 75 \text{ cm}$

	60 kV			90 kV
	I	II	III	I
60°	35	35	34	
90°	36	38	38	110
120°	32	34	34	
150°	22	21	20	
180°	13	12	11	60
210°	18	21	19	
240°	28	29	31	
270°	39	37	41	110
300°	42	40	40	

$h = 160 \text{ cm} / r = 100 \text{ cm}$

	60 kV			90 kV
	I	II	III	I
60°	23	22	22	
90°	22	25	22	72
120°	23	21	24	
150°	13	14	13	
180°	9	9	9	40
210°	15	14	15	
240°	--	--	--	
270°	--	--	--	
300°	--	--	--	

Meßprotokoll PANOREX (S. S. White) (2)

$h = 160 \text{ cm} / r = 150 \text{ cm}$

	60 kV			90 kV
	I	II	III	I
60°	--	--	--	
90°	12	11	12	39
120°	11	12	11	
150°	8	8	8	
180°	6	6	5	22
210°	7	8	7	
240°	--	--	--	
270°	--	--	--	
300°	--	--	--	

$h = 80 \text{ cm} / r = 75 \text{ cm}$

	60 kV			90 kV
	I	II	III	I
60°	53	51	51	
90°	48	47	47	131
120°	48	47	48	
150°	35	38	37	
180°	31	35	33	115
210°	31	38	34	
240°	42	38	40	
270°	29	29	32	95
300°	48	46	47	

Meßprotokoll PANOREX (S. S. White) (3)

$h = 80 \text{ cm} / r = 100 \text{ cm}$

	60 kV			90 kV
	I	II	III	I
60°	29	29	29	
90°	28	27	30	85
120°	30	28	29	
150°	26	22	25	
180°	22	21	22	73
210°	22	21	23	
240°	--	--	--	
270°	--	--	--	
300°	--	--	--	

$h = 80 \text{ cm} / r = 150 \text{ cm}$

	60 kV			90 kV
	I	II	III	I
60°	--	--	--	
90°	10	10	10	32
120°	11	12	13	
150°	11	11	11	
180°	11	10	12	34
210°	9	11	9	
240°	--	--	--	
270°	--	--	--	
300°	--	--	--	

Meßprotokoll PANOREX (S. S. White) (4)

$h = 120 \text{ cm} / r = 75 \text{ cm}$

	60 kV		90 kV
	I	(II III)	I
60°	29		--
90°	27		96
120°	28		--
150°	25		--
180°	23		88
210°	29		--
240°	32		--
270°	31		108
300°	--		--

$h = 120 \text{ cm} / r = 100 \text{ cm}$

	60 kV		90 kV
	I	(II III)	I
60°	16		--
90°	14		52
120°	15		--
150°	16		--
180°	14		52
210°	18		--
240°	--		--
270°	--		--
300°	--		--

$h = 120 \text{ cm} / r = 150 \text{ cm}$

	60 kV		90 kV
	I	(II III)	I
60°	--		--
90°	6		24
120°	7		--
150°	6		--
180°	7		29
210°	8		--

Meßprotokoll kV-Abhängigkeit der Dosis

gemessen in Kopf- und Gonadenhöhe des Zahnarztes (160 cm bzw. 80 cm) bei verschiedenen Winkeln als Parameter (Messungen mit Phantom und Kassette im Abstand von 45°)

r = 100 cm; Angaben in μ R.

I. ORTHOPANTOMOGRAPH								
h = 160 cm	kV	55	60	65	70	75	80	85
180°		29	40	54	73	103	163	229
225°		32	41	58	75	107	176	298
270°		25	37	43	61	79	126	206
h = 80 cm	kV	55	60	65	70	75	80	85
180°		20	24	30	39	50	70	107
225°		24	31	38	46	56	81	121
270°		15	19	25	30	39	66	93

II. PANOREX								
h = 160 cm	kV	55	60	65	75	80	85	90
180°		6	8	12	20	26	31	41
135°		9	14	18	24	33	41	51
90°		12	19	26	37	45	56	61
h = 80 cm	kV	55	60	65	75	80	85	90
180°		11	16	20	31	44	51	62
135°		12	19	25	38	46	56	65
90°		17	23	30	47	57	66	78

III. DENTAL-TOMOGRAPH								
h = 160 cm	kV	55	60	65	74	80	86	90
180°		19	38	48	100	167	261	359
225°		27	46	53	97	141	213	241
270°		15	23	31	62	99	169	213
h = 80 cm	kV	55	60	65	74	80	86	90
180°		17	25	33	59	88	130	173
225°		20	29	38	61	88	130	170
270°		11	17	20	36	59	86	122

Dosisvergleich zwischen ORTHOPANTOMOGRAPH, PANOREX und DENTAL-TOMOGRAPH unmittelbar hinter der Kassettenumlaufbahn bei 60 kV und 85 bzw. 90 kV (errechnet als Mittelwert der Meßdaten in Röhrenhöhe; Abstand von der zentralen Rotationsachse $r = 75$ cm).

I. ORTHOPANTOMOGRAPH		
h = 160 cm	60 kV	85 kV
	87 μ R	339 μ R
II. PANOREX		
h = 120 cm	60 kV	90 kV
	28 μ R	97 μ R
III. DENTAL-TOMOGRAPH		
h = 160 cm	60 kV	90 kV
	79 μ R	549 μ R

Maximaldosis in der zentralen Rotationsachse der Röntgenröhre (gemessen in Röhrenhöhe bei 60 kV und 85 bzw. 90 kV ohne Phantom).

I. ORTHOPANTOMOGRAPH		
60 kV	:	18 mR
85 kV	:	500 mR
II. PANOREX		
60 kV	:	16 mR
90 kV	:	200 mR
III. DENTAL-TOMOGRAPH		
60 kV	:	18 mR
90 kV	:	300 mR

Bestimmung der Streustrahlung durch halbseitige Abschirmung der Meßsonde vor dem Nutzstrahlenkegel mittels einer Bleiplatte der Dicke $Pb = 2,75$ mm (gemessen in der Nutzstrahlenebene im rechten Winkel zum Gerät in den Entfernungen 75 und 100 cm von der zentralen Rotationsachse unter Verwendung des ALDERSON-Phantoms; Angaben in μR).

I. ORTHOPANTOMOGRAPH			
h = 160 cm		60 kV	80 kV
270° /	r = 75 cm ohne Pt	76	220
	mit Pt	3	19
	r = 100 cm ohne Pt	47	106
	mit Pt	2	14
II. PANOREX			
h = 120 cm		60 kV	80 kV
90° /	r = 75 cm ohne Pt	51	104
	mit Pt	7	23
	r = 100 cm ohne Pt	14	41
	mit Pt	1	7
III. DENTAL-TOMOGRAPH			
h = 160 cm		60 kV	80 kV
270° /	r = 75 cm ohne Pt	11	46
	mit Pt	2	10
	r = 100 cm ohne Pt	17	18
	mit Pt	2	20

Breite des Strahlenaustritts am Unterrand der Kassettenblende (gemessen mit einem Röntgenfilm, der während dreier Umläufe am Hinterrand der Filmkassette fixiert war).

I. ORTHOPANTOMOGRAPH	I	II	III
	5 mm	5 mm	5 mm
II. PANOREX		II	III
	10 mm	8 mm	10 mm
III. DENTAL-TOMOGRAPH	I	II	III
	15 mm	16 mm	16 mm

I) Literaturverzeichnis

(1) BUCHMANN, F.

"Die Prinzipien des Dental-Tomograph"

Sonderdruck aus: Röntgenstrahlen 31 (1974)

(2) FLEISCHER-PETERS, A.

"Eine neuartige Röntgendarstellung des
gesamten Kieferbereiches"

Erste Erfahrungen mit dem Orthopantomograph
Dtsch. zahnärztl. Z. 19, 1351 - 1354 (1962)

(3) GIBBS, S. J. und MITCHELL, A. C.

"Energy and angle dependence of calcium
fluoride and lithium fluoride thermo-
luminescent dosimetry systems"

Oral surg. 37, 641 - 648 (1974)

(4) JACOBSON, A. F. und FERGUSON, J. P.

"Evaluation of an S. S. White Panorex
X-ray machine"

Oral surg. 36, 426 - 442 (1973)

(5) PASLER, F. A.

"Strahlenschutz in der zahnärztlichen
Praxis"

Schweiz. Mschr. Zahnheilkunde 82, 1133 -
1152 (1972) /

(6) REGULLA, D. F., RICCI, A. und SONNABEND, E.

"Dosismessungen bei Panorama-Röntgenauf-
nahmen des Gebisses mit Thermolumineszenz-
dosimetern"

Dtsch. zahnärztl. Z. 27, 14 - 21 (1972)

(7) RICHARDS, A. G.

"Secondary Radiation and the Dentist"
J. Amer. dent. Ass. 57, 31 - 38 (1958)

(8) ROLOFSON, J. W., HAMEL, A. und STEWART, H. F.

"Radiation isoexposure-curves about a
dental chair during radiography"
J. Amer. dent. Ass. 78, 310 - 319 (1969)

(9) ROTTKE, B. und BUCHMANN, F.

"Strahlenschutzverhältnisse an einem
Panorama-Schichtgerät"
Quintess. zahnärztl. Lit. 10, 127 - 134
(1974)

(10) SAUTER, F.

"Die Röntgenortsdosis im Praxisraum in Ab-
hängigkeit von der Feldgröße und von der
Aufstellung zahnärztlicher Röntgengeräte
(unter besonderer Berücksichtigung der Er-
gebnisse des RÖPAK-Verfahrens)"
Med. Diss. München 1973

(11) SONNABEND, E.

"Strahlenexposition und Strahlenschutz"
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 126 - 140 (1967)

(12) SONNABEND, E.

"Zur Dosis bei Panorama-Röntgenaufnahmen"
Dtsch. zahnärztl. Z. 27, 984 - 992 (1972)

- (13) SONNABEND, E. und TADSEN, H.

"Zur neuen Verordnung über den Schutz
vor Schäden durch Röntgenstrahlen"
(Einführung und Erläuterungen zur Rönt-
genverordnung)

Zahnärztl. Mitt. 16, 757 - 763 (1973)

- (14) SONNABEND, E. und WENZEL, U.

"Die Röntgenstrahlendosis im zahnärztli-
chen Praxisraum"

Dtsch. zahnärztl. Z. 24, 565 - 577 (1969)

- (15) SONNABEND, E.

"Vergleichende Untersuchungen über die
Röntgendosis bei den verschiedenen Pano-
rama-Aufnahmeverfahren"

Dtsch. zahnärztl. Z. 29, 730 - 733 (1974)

- (16) SONNABEND, E.

"Die Dosis bei Röntgenaufnahmen in der
Kieferorthopädie und ihre Bedeutung für
die Indikationsstellung"

Fortschr. Kieferorthop. 37, 69 - 73 (1976)

- (17) WÖRNER, H.

"Strahlenbelastung, Strahlengefährdung und
Strahlenschutz in der zahnärztlichen Rönt-
genologie unter Berücksichtigung der Rönt-
genverordnung vom 01.09.1973"

Colloquium med. dent. 18, 64 - 70 (1974)

(18) Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 18, S. 173 ff.

"Verordnung über den Schutz vor Schäden
durch Röntgenstrahlen (RöV) vom 01.03.1973"

(19) Amtsblatt des Bayerischen Staatsministeriums für Landesent-
wicklung und Umweltfragen, Nr. 7/8 vom 07.08.1974, S. 74 ff.

"Vollzug der Röntgenverordnung"

(Bekanntmachung vom 17. Juli 1974,
Nr. 6322 c - VII/2 - 19118)

(20) Deutsche Industrienormen (DIN)

Nr. 6811 - Nr. 6816

(21) S. S. WHITE

"Persönliche Mitteilung vom Werk"

L e b e n s l a u f

Name: Jürgen Peter Eugen BACHMANN
Geburtsdatum: 03.02.1953
Geburtsort: Kempten / Allgäu
Konfession: römisch-katholisch
Eltern: Heinrich BACHMANN, Studiendirektor
Elvira BACHMANN, geb. Enderle, Hausfrau

Ausbildungsgang:

1959 - 1960	Volksschule in München
1960 - 1963	Volksschule in Höhenkirchen
1963 - 1972	Albert-Einstein-Gymnasium München
1972	Abitur und Aufnahme des Studiums der Zahnmedizin an der Universität München
Oktober 1973	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
April 1975	Zahnärztliche Vorprüfung
März 1978	Zahnärztliche Prüfung

